

*На правах рукописи*

**ГОВОРКОВА Лада Константиновна**

**ВЫЯВЛЕНИЕ ФАКТОРОВ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ  
МЕТАЛЛОВ В ОРГАНАХ РЫБ РАЗЛИЧНЫХ  
ТРОФИЧЕСКИХ ГРУПП**

**(на примере Куйбышевского водохранилища)**

**Специальность:**

**03.00.16 - Экология**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук**

**КАЗАНЬ – 2004**

Работа выполнена на кафедре прикладной экологии Казанского государственного университета им. В.И. Ульянова-Ленина и Тат.отделении ГосНИОРХ, г. Казань

Научные руководители: доктор химических наук,  
профессор Латыпова Венера Зиннатовна

кандидат биологических наук,  
доцент Степанова Надежда Юльевна

Официальные оппоненты: доктор биологических наук,  
профессор Яковлев Валерий Анатольевич

доктор биологических наук,  
старший научный сотрудник Ратушняк Анна  
Александровна

Ведущее учреждение: Марийский государственный технический  
университет (г. Йошкар-Ола)

Защита диссертации состоится "15" июня 2004 года в 14<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного Совета Д 212.081.19 при Казанском государственном университете им. В.И. Ульянова-Ленина, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского государственного университета.

Отзывы на автореферат просим присылать по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, КГУ, отдел аспирантуры.

Автореферат разослан " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2004 г.

Ученый секретарь диссертационного Совета,  
доктор химических наук Г.А. Евтюгин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Природные воды - важнейший компонент окружающей природной среды, возобновляемый, ограниченный и уязвимый природный ресурс. Масштабность последствий техногенной деятельности и специфика их проявления в виде угрозы водным и рыбным ресурсам приводит к необходимости обязательного учета факторов риска для ихтиофауны и здоровья населения токсичными загрязняющими веществами.

Среди загрязняющих веществ, представляющих приоритетный интерес для системы мониторинга, тяжелые и токсичные металлы являются одними из важнейших. Согласно решению Целевой группы по выбросам Европейской экономической комиссии ООН к числу тяжелых металлов, поступающих в биосферу из антропогенных источников, отнесены Pb, Cd, Hg, Ni, Co, Cr, Cu, Zn, а также As, Sb, Se. Особый интерес к тяжелым металлам вызван, прежде всего, их высокой токсичностью по отношению к гидробионтам и человеку. Опасность усугубляется тем, что металлы не подвергаются химической и биологической деградации, как это свойственно органическим токсикантам. Поэтому, попав однажды в окружающую природную среду, они лишь перераспределяются между биотическими и абиотическими компонентами, изменяя форму нахождения и взаимодействуя с различными звеньями живых организмов. Не случайно фоновый уровень токсичных и тяжелых металлов в биосфере постепенно повышается.

Рыбная продукция является основным накопителем многих токсичных металлов и их соединений, присутствующих в водной среде (Перевозников, Богданова, 1999).

Особый интерес представляет исследование трендов биоаккумуляции токсичных металлов в органах рыб, выявление факторов, влияющих на биоразнообразие ихтиофауны, математическое описание соответствующих закономерностей и поиск подходов к оценке устойчивых параметров биологических ресурсов в условиях антропогенного воздействия.

Существующая Единая государственная система гидромониторинга не включает научно и экономически обоснованную подсистему экологического мониторинга ихтиофауны по комплексу взаимосвязанных и взаимообусловленных показателей.

Таким образом, важнейшей проблемой на пути организации ответственного водопользования является комплексная оценка состояния водной экосистемы в рамках экотоксикологического мониторинга для разработки долгосрочных программ по улучшению ихтиологической обстановки в водоеме.

**Цель** настоящей работы - выявление факторов накопления наиболее стабильных токсикантов - тяжелых металлов в рыбах, количественное описание закономерностей накопления металлов по органам в соответствии с типом питания и разработка рекомендаций к развитию подсистемы

ихтиомониторинга в программе экологического мониторинга Куйбышевского водохранилища.

**Объектом исследования** является Куйбышевское водохранилище - составная часть развитого в хозяйственном отношении региона, расположенного в пределах 5-ти субъектов Федерации, для которого антропогенное воздействие стало одним из главных факторов формирования качества водных и биологических ресурсов, в т.ч. запасов ценных видов промысловых рыб.

**Задачи исследования:**

1. Проанализировать динамику численности основных промысловых видов рыб за время существования Куйбышевского водохранилища.
2. Оценить степень загрязнения абиотических компонентов (вода, донные отложения) Куйбышевского водохранилища по плесам.
3. Выявить влияние степени загрязнения донных отложений тяжелыми и токсичными металлами (Zn, Cu, Ni, Cr, Pb, Cd, Co, Fe, Mn и Hg) на видовое разнообразие макрозообентоса и оценить терратогенное воздействие металлов в среде обитания на личинок хирономид методами экотоксикологии.
4. Определить содержание металлов в тканях и органах рыб Куйбышевского водохранилища, провести анализ пространственного распределения степени бионакопления тяжелых металлов относительно санитарно-гигиенических нормативов.
5. Количественно охарактеризовать основные закономерности: распределения металлов в системе донные отложения – бентос – рыбы, включая содержание металлов в тканях и органах рыб (мышцы, печень, жабры) от их биофильности и качества среды обитания (интегральные показатели загрязнения воды и донных отложений металлами); поэлементного накопления тканями и органами (мышцы, печень, жабры) исследуемых видов рыб в соответствии с их типом питания (планктонофаги, бентофаги и хищники).
6. Разработать рекомендации по развитию подсистемы ихтиомониторинга в программе экологического мониторинга Куйбышевского водохранилища.

Данная работа выполнена на кафедре прикладной экологии Казанского государственного университета им. В.И. Ульянова-Ленина (КГУ) и Татарском отделении ГосНИОРХ (ТатГосНИОРХ) в рамках госбюджетной темы "Развитие теоретических и прикладных основ экологического мониторинга", № ГР 01.98.0006937, код ГАСНТИ 87.43.21; а также Программы Республики Татарстан развития науки на 2001-2005 годы по направлению "Экологическая безопасность" (грант № 09-9.4-86/2002-Ф).

**Научная новизна.** Впервые с использованием единой методической базы оценен уровень загрязнения тяжелыми и токсичными металлами основных абиотических и биотических компонентов Куйбышевского водохранилища от верхнего до нижнего плесов. Найдено и количественно описано уменьшение биоразнообразия макрозообентоса при увеличении

уровня содержания металлов в донных отложениях. На основе анализа пространственного распределения металлов в абиотических компонентах водохранилища выявлена опасность повышенного загрязнения планктоноядных (загрязнение воды в верхних плесах) и бентосоядных (загрязнение донных отложений и бентоса в нижних плесах) рыб. Охарактеризована селективность поглощения металлов тканями и органами рыб (мышцы, печень, жабры) в зависимости от механизма их поступления в организм. Выявлены и методами математической статистики описаны основные закономерности: распределение токсичных металлов в системе донные отложения – бентос, в органах и тканях рыб различных экологических групп; зависимость уровня бионакопления от степени биофильности металла и качества среды обитания (интегральные показатели загрязнения воды и донных отложений), а также закономерности поэлементного накопления тканями и органами всех исследуемых видов рыб в соответствии с их типом питания (планктонофаги, бентофаги и хищники).

**Практическая значимость.** Результаты данной работы использованы при составлении электронной эколого-водохозяйственной карты Куйбышевского водохранилища по заданию Министерства природных ресурсов России (№ АК-41-04/22 от 18.05.2002). Отдельные разделы диссертационной работы используются при чтении общепрофессиональных курсов "Экологический мониторинг" и "Экологическая токсикология" для студентов экологического факультета Казанского государственного университета по специальности 013100 – экология. Результаты исследований переданы в ГосНИОРХ (г. Санкт-Петербург) для разработки долгосрочных программ по увеличению численности ценных видов рыб и совершенствованию программы ихтиомониторинга Куйбышевского водохранилища.

**На защиту выносятся следующие положения:**

1. Отмечаемое для небольшой части выборки проб (5 - 12%) загрязнение рыбы как пищевого продукта (по отношению содержания нормируемых металлов в мышцах (Pb, Cd, As и Hg) и печени (Pb, Cd и Hg) рыб к соответствующему ПДК) в среднем для Куйбышевского водохранилища приурочено к антропогенным источникам: на станциях верхних плесов с низким качеством воды отмечается превышение норматива содержания Pb в мышечной ткани рыб, а в нижних плесах с повышенным содержанием металлов в донных отложениях - Pb и Cd в печени рыб.
2. Индекс видового разнообразия (ИВР) макрозообентоса характеризуется обратно пропорциональной зависимостью от содержания металлов в донных отложениях Куйбышевского водохранилища.
3. Степень аккумуляции металлов тканями и органами (мышцы, печень, жабры) рыб Куйбышевского водохранилища прямо пропорционально связана с биофильностью соответствующих химических элементов.
4. Уровень накопления каждого из токсичных металлов в органах и тканях исследованных рыб находится в прямо пропорциональной

зависимости от обобщенных показателей качества абиотических компонентов – воды и/или донных отложений в зависимости от механизма поступления загрязняющих веществ в организм рыб различного трофического статуса.

5. Фактором риска повышенного загрязнения планктоноядных рыб металлами (Zn, Cu, Ni, Cr, Pb, Cd, Co, Fe, Mn и Hg) и снижения их качества в целом для Куйбышевского водохранилища является загрязнение воды в верхних плесах, а загрязнение донных отложений в нижних плесах – для бентосоядных.

6. Тенденция к снижению численности основных промысловых видов рыб (лещ, стерлядь, судак и синец) в последний этап развития Куйбышевского водохранилища описывается уравнениями нелинейной зависимости.

**Личный вклад автора.** Отбор, подготовка и анализ проб воды, донных отложений и биотических компонентов, выполнение экспериментов, статистическая обработка полученных результатов, их обобщение и формулирование выводов на их основе проведены лично автором. В экспедиционных выездах и выполнении ряда экспериментов приняли участие сотрудники кафедры прикладной экологии КГУ и ТатГосНИОРХ, которым автор приносит свою благодарность.

**Публикации.** Основные результаты работы изложены в 4 статьях и 8 тезисах докладов на Всероссийских и региональных конференциях.

**Апробация работы.** Результаты исследований докладывались на Международной научной конференции «Малые реки: Современное экологическое состояние, актуальные проблемы» (Тольятти, 2001), на 8 съезде гидробиологического общества РАН (Калининград, 2001), Всероссийской научно-практической конференции «Биоразнообразие и биоресурсы Среднего Поволжья и сопредельных территорий» (Казань, 2002), Всероссийской конференции «Современные проблемы водной токсикологии» (Борок, 2002), Международной конференции «Экологические проблемы бассейнов крупных рек – 3» (Тольятти, 2003), на 2-ом съезде токсикологов России (Москва, 2003), на Всероссийской научной конференции «Экологические, морфофизиологические особенности и современные методы исследования живых систем» (Казань, 2003), на заседании Ученого Совета ФГНУ «ГосНИОРХ» (С.-Петербург, 2003), на Итоговой научной конференции КГУ (Казань, 2004).

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа изложена на 192 страницах машинописного текста, включает 34 рисунка, 29 таблиц. Состоит из введения, трех глав, выводов, списка использованных библиографических источников, включающего 251 ссылку на отечественные и зарубежные работы, и приложения (10 таблиц).

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** кратко сформулированы актуальность, цель диссертационной работы, положения, выносимые на защиту, научная новизна, практическая значимость и апробация работы.

### ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМОВ ТОКСИЧНЫМИ МЕТАЛЛАМИ (Обзор литературы)

Обзор литературы посвящен анализу механизмов поступления, миграции и аккумуляции токсичных металлов в абиотических и биотических компонентах водной экосистемы (вода, донные отложения, гидробионты). Обобщены данные по уровню загрязнения рыбы Куйбышевского водохранилища металлами, по изменению ихтиофауны на разных этапах формирования. Приводятся результаты оценки уровня загрязнения донных отложений через показатель деформаций челюстного аппарата хирономид, проведенной при исследовании рек и озер США, Западной Европы и водохранилищ России.

### ГЛАВА 2. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

#### 2.1. Объект исследования

В данной главе приведена характеристика Куйбышевского водохранилища (КВ). Прослежено изменение гидрологического и температурных режимов с момента заполнения водохранилища до настоящего времени, описано современное состояние нерестилищ основных промысловых видов рыб, а также проведен анализ динамики численности основных видов промысловых рыб за время существования КВ (рис. 1). Выявленная устойчивая тенденция к снижению численности ( $Z_i$ ) основных видов промысловых рыб в КВ во времени ( $\tau$ ) в последний период его развития количественно описана следующими уравнениями регрессии:

$$C_{\text{сала}} = 37,56 - 0,46 \cdot \tau, \quad C_{\text{лещ}} = 213,09 - 3,83 \cdot \tau, \quad C_{\text{плотва}} = -34,76 + 1784,18 \cdot \tau^{-1},$$
$$C_{\text{белоглазка}} = -69,30 + 3377,13 \cdot \tau^{-1}.$$

#### 2.2. Материалы и методы

Обоснованы пункты наблюдения (створы) в акватории Куйбышевского водохранилища (рис. 2) для ведения подсистемы ихтиомониторинга в рамках экологического мониторинга. Отбор проб воды, донных отложений и биологических образцов проводили с использованием пробоотборника Молчанова и дночерпателя Петерсона на заранее установленных 24 створах (в трех вертикалях) и отдельных станциях от верхнего до нижнего бьефа водохранилища, включая Камский отрог, в летне-осенние периоды 2000-2003 гг. Всего отобрано и проанализировано около 7000 проб биотических (фито-, зоопланктон, макрозообентос, рыба) и абиотических (вода, донные отложения) компонентов водохранилища. Исследованы рыбы различных трофических групп: синец (планктонофаг), лещ, стерлядь, белоглазка, плотва

(бентофаги), судак, берш (хищники), вносящие наибольший вклад в общий промысел.



Рис. 1. Динамика изменения запасов промысловых рыб (в процентах от максимального уровня) за годы существования Куйбышевского водохранилища с момента его заполнения.

В работе использовали унифицированные, либо стандартные методики гидрохимического анализа, пробоподготовки и определения металлов (Zn, Cu, Ni, Cr, Pb, Cd, Co, Hg, Fe, Mn) в пробах воды, донных отложений, биологических образцах (рыбы, бентос), а также аттестованные растворы стандартных образцов (ГСО, ГСОМ, АРЗ-ПП-Рыб-4, АРЗ-ПП-Мяс-4). Определение содержания металлов в органах и тканях рыб, бентосе, воде и донных отложениях проводили методом атомной абсорбции.

Сбор и камеральную обработку ихтиологического материала проводили в соответствии с методиками, принятыми в системе ГосНИОРХ. Пробоотбор и обработку гидробиологического материала осуществляли по общепринятым методикам. Токсикологические исследования проводили на личинках хирономид с оценкой частоты встречаемости морфологических порогов развития.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием компьютерного пакета программы Statistica 6.0. Значимость полученных коэффициентов корреляции ( $r$ ) оценивали с помощью  $t$ -критерия Стьюдента с использованием преобразования Фишера для  $r$  с вероятностью  $P > 0,95$ .

## ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### 3.1. Оценка уровня загрязнения абиотических компонентов

Качество воды. Рыбная продукция является основным накопителем многих токсичных веществ, присутствующих в водной среде. На формирование гидрохимических показателей качества воды КВ значительное влияние оказывает комплекс факторов, таких как транзитный перенос загрязняющих веществ, сбросы промышленных и хозяйственно-бытовых



сточных вод, поверхностный сток с селитебных и сельскохозяйственных территорий, метеорологические явления и др.

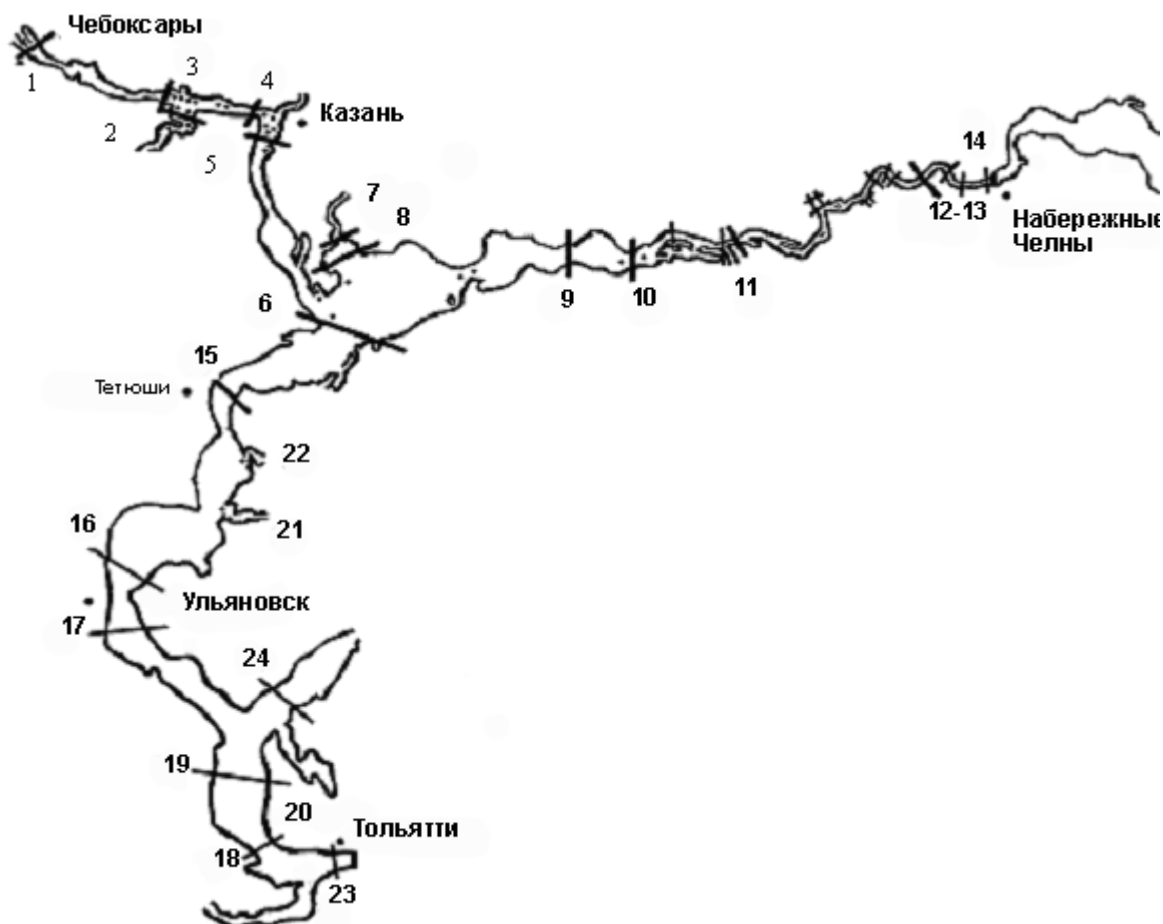


Рис. 2. Расположение мест отбора проб воды, донных отложений, рыбы (линиями отмечены створы, точками – станции)

В период с 1993-1994 гг. качество воды водохранилища, выраженное в величинах индекса загрязнения воды (ИЗВ<sub>6</sub>)<sup>1</sup>, относилось к 4 классу загрязненных вод, а с 1995 по 2001 гг. качество поверхностных вод Куйбышевского водохранилища изменялось в пределах одного класса – третьего, умеренно загрязненные воды, исключение составляет 1999 год (4 класс). Таким образом, за рассмотренный период преобладающим является 3 класс качества воды, а уровень содержания загрязняющих веществ в воде в 1996-97 гг. можно считать фоновым для последнего десятилетия. Общая тенденция к уменьшению значений ИЗВ<sub>6</sub> прерывается в маловодном 1999 году. Наметилось ухудшение качества воды в 2002 г., по-видимому, за счет увеличения объема сброса сточных вод (Информационный бюллетень., 2003) и увеличения массы сброса органических веществ по БПК, СПАВ и тяжелых металлов (Mn, Cu, Zn, Ni, Cr).

<sup>1</sup> 
$$ИЗВ_6 = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \frac{C_i}{ПДК_i}$$
, где  $C_i$  – фактическая концентрация приоритетного загрязняющего вещества; 6 – число показателей, используемых для расчета индекса.

Если характеризовать качество воды на всем пространстве КВ, то в соответствии со значениями ИЗВ<sub>6</sub> оно улучшалось от Камского (3,77), Волжского (2,45), Волжско-Камского (1,86) плесов к Тетюшскому (1,55) и Ундорскому (1,53), а затем вновь ухудшалось от Ульяновского (1,80) к Приплотинному (1,90), что совпадает с интенсивностью техногенной освоенности прибрежных территорий указанных плесов.

Загрязнение донных отложений. При оценке фонового распределения и уровня загрязнения донных отложений (ДО) металлами были использованы результаты собственных экспедиционных исследований и литературные данные. Анализ данных, выраженных в величинах СПЗ<sub>до</sub><sup>2</sup>, показывает повышение уровня загрязнения ДО от верхних к нижним станциям: невысокий уровень загрязнения характерен для участков вплоть до ст. Камское Устье (правый берег). Уже на ст. Камское Устье (левый берег, русло) и далее до ст. Тетюши происходит повышение степени загрязнения ДО металлами (СПЗ<sub>до</sub>>2), по-видимому, за счет влияния р. Камы; далее по течению ухудшение качества ДО наблюдается только в приплотинной части Куйбышевского водохранилища и в устьевых участках некоторых притоков. Подобная тенденция повышения уровня загрязнения ДО тяжелыми и токсичными металлами от верховьев к низовьям сохраняется и для Камской части Куйбышевского водохранилища.

Поскольку процесс формирования загрязнения ДО металлами, как отмечалось ранее, зависит от многих факторов, одним из которых является их осаждение со взвешенным веществом, представляет интерес совместный анализ качества воды и степени загрязнения ДО по соответствующим интегральным показателям СПЗ<sub>и</sub>, рассчитанными отдельно для воды (СПЗ<sub>в</sub>)<sup>3</sup> и для донных отложений (СПЗ<sub>до</sub>).

Значения СПЗ<sub>в</sub> был получен при сравнении фактического содержания каждого исследованного металла к соответствующему фоновому значению. Как можно видеть из графика (рис. 3), величина СПЗ<sub>до</sub> как бы «запаздывает» от интегрального параметра загрязнения воды СПЗ<sub>в</sub> на «шаг», т.е. осаждение металлов в ДО происходит в плесе, расположенном ниже по течению. Например, Волжский и Камский плесы, в силу высокой плотности промышленных предприятий, характеризуются самым низким качеством воды (СПЗ<sub>в</sub>=1,27 и 1,41 соответственно) при невысоком уровне загрязнения грунта (СПЗ<sub>до</sub><1). Вместе с тем, значительно высокий уровень загрязнения ДО отмечен ниже по течению в Тетюшском плесе, где вода менее загрязнена

<sup>2</sup>  $СПЗ_{до} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{C_{fi}}$ , где  $C_i$  – фактическая концентрация металла;  $N$  – число показателей, используемых

для расчета индекса;  $C_{fi}$  – фоновая концентрация металла в донных отложениях соответствующего типа. При расчете СПЗ<sub>до</sub> использовались фоновые значения содержания металлов отдельно для песчаных и илистых грунтов.

<sup>3</sup>  $СПЗ_в = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{ПДК_i}$ , где  $C_i$  – фактическая концентрация металла в воде; ПДК<sub>и</sub> – норматив содержания металла в воде;  $N$  – число показателей, используемых для расчета индекса

(СПЗ<sub>В</sub>=1,17). Как показано на рис. 3, загрязнение грунта начинает нарастать в Волжско-Камском плесе и достигает максимальных значений в Тетюшском за счет осаждения металлов, выносимых с Камской водой. В Ундорском расширении улучшение качественных характеристик воды и грунта обусловлено, вероятно, отсутствием крупных организованных антропогенных источников; ниже по течению уровня загрязнения как воды, так и ДО постепенно нарастает, достигая наибольших значений для нижней, приплотинной части водохранилища.

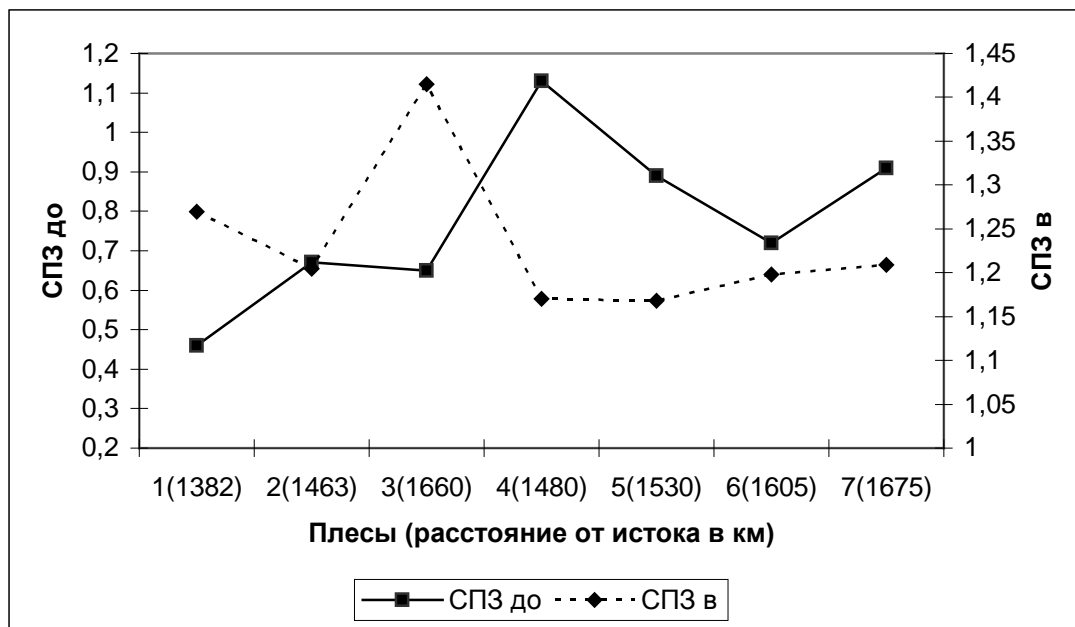


Рис. 3. Изменение интегральных характеристик СПЗ<sub>В</sub> и СПЗ<sub>до</sub> по плесам (1-Волжский; 2-Волжско-Камский; 3-Камский; 4-Тетюшский; 5-Ундорский; 6-Ульяновский; 7-Приплотинный).

### 3.2. Кормовая база Куйбышевского водохранилища в разные фазы его формирования

Анализ кормовой базы Куйбышевского водохранилища в разные фазы его формирования показал, что она претерпела значительные изменения.

Фитопланктон. В первые годы после перекрытия Волги плотиной фитопланктон водохранилища состоял из 168 видов, в том числе 76 - протококковых, по 24 – диатомовых и эвгленовых, 19 – синезеленых (Примадченко, 1961, Стройкина, 1963). В условиях замедленного стока и повышенного содержания биогенных элементов резко возросла интенсивность размножения синезеленых водорослей. В течение всего периода данного исследования альгофлора состояла из диатомовых, синезеленых, зеленых, пиррифитовых, эвгленовых и желто-зеленых водорослей с преобладанием по численности синезеленых водорослей (10803 млн. кл/м<sup>3</sup> или 65% от общей численности), а по биомассе – диатомовых (2,22 г/м<sup>3</sup> или 35% от общей биомассы). В течение вегетационного периода наблюдалась смена доминирующих форм: в мае преобладали диатомовые водоросли; в июле и, особенно в августе, наблюдалось сильное развитие синезеленых и зеленых; в сентябре вновь преобладали диатомовые.

Зоопланктон. Зарегулирование стока р. Волги благоприятно отразилось на развитии зоопланктона вследствие затопления большого количества прибрежных площадей, уменьшения скорости течения, повышения концентрации биогенных веществ в воде и т.д. Если раньше зоопланктон носил "речной" характер с преобладанием коловраток, то после образования водохранилища увеличилась численность ракообразных, которые являются ценным кормом как для молоди, так и для некоторых взрослых рыб, в частности для планктоноядной рыбы – синца. В среднем по всему водохранилищу биомасса зоопланктона в 2000-2003 годах составила  $1,14 \text{ г/м}^3$  и мало отличалась от таковой в предыдущие годы ( $1,12 \text{ г/м}^3$ ).

Макрозообентос. Для водохранилища в целом характерно снижение кормового бентоса после заполнения водоема при сильном увеличении количества и биомассы дрейссены. В период исследования в Куйбышевском водохранилище по численности преобладали олигохеты ( $491 \text{ экз./м}^2$ ), на втором месте – моллюски ( $371 \text{ экз./м}^2$ ), они же доминировали по биомассе ( $195,8 \text{ г/м}^2$ ). Многочисленными также были высшие ракообразные ( $219 \text{ экз./м}^2$ ), в основном гаммариды. Видовой состав зообентоса Куйбышевского водохранилища был довольно стабильным по годам и состоял в основном из моллюсков, олигохет, высших ракообразных и хирономид. Кроме того, встречались пиявки, водяные клещи, полихеты, кумовые ракообразные, мизиды и нематоды. Для большинства исследованных проб характерны довольно большие значения биомассы ( $208,9 \text{ г/м}^2$ ). Методами математической статистики была получена зависимость биомассы моллюсков ( $B_M$ ) от общей биомассы зообентоса ( $B_{OB}$ ) ( $B_{OB}=24,35+1,02 \cdot B_M$ ;  $r=0,99$ ;  $p<0,05$ ), что подтверждает отмеченную ранее тенденцию изменения структуры бентосного сообщества в сторону уменьшения количества мягкого бентоса и, следовательно, ухудшения его пищевой ценности как кормовой базы ихтиофауны.

Увеличение уровня содержания металлов в ДО от верхних к нижним плесам, выраженное в величинах СПЗ<sub>ДО</sub>, сопровождается ухудшением биологических характеристик бентосного сообщества – снижением индекса видового разнообразия (ИВР) макрозообентоса (рис. 4). Эта обратная зависимость ( $ИВР=3,45-1,43 \cdot СПЗ_{ДО}$ ;  $r=-0,77$ ;  $p<0,05$ ) показана на рис. 5.

Одним из эффективных методов оценки уровня загрязнения ДО является развиваемое в последние годы (Warwick, 1998; Назарова, 1999; Назарова и др., 2001) экотоксикологическое исследование частоты встречаемости морфологических нарушений хирономид, в т.ч. деформаций ротового аппарата (ментума). Личинки большинства видов хирономид живут в седиментах и проводят здесь всю личиночную стадию, именно в этот период они наиболее остро реагируют на воздействие токсикантов. Статистически рассчитанный (фоновый) по результатам наших исследований уровень деформаций хирономид для Куйбышевского водохранилища (6,5%) был несколько ниже значения (8%), принятого в литературе за фоновое.

Показано, что максимальный уровень деформаций ротового аппарата (ментума) личинок хирономид также сопряжен с повышенным уровнем содержания в ДО металлов (Волжско-Камский, Ундорский и Приплотинный плесы), а также пестицидов (Степанова и др., 2004), поступающих с поверхностным стоком (Ундорский плес).

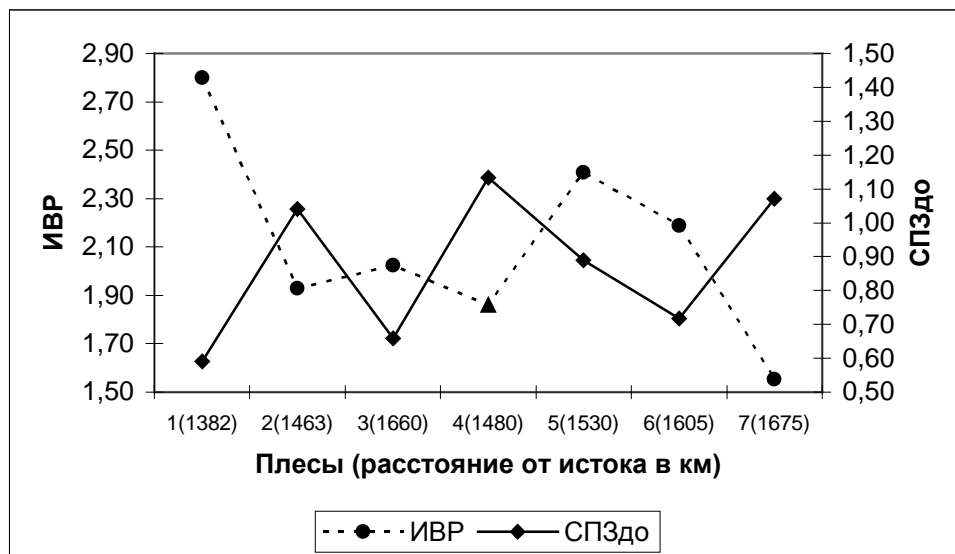


Рис. 4. Изменение интегральных показателей ИВР макрозообентоса и СПЗ<sub>до</sub> металлами по плесам (1-Волжский; 2-Волжско-Камский; 3-Камский; 4-Тетюшский; 5-Ундорский; 6-Ульяновский; 7-Приплотинный).

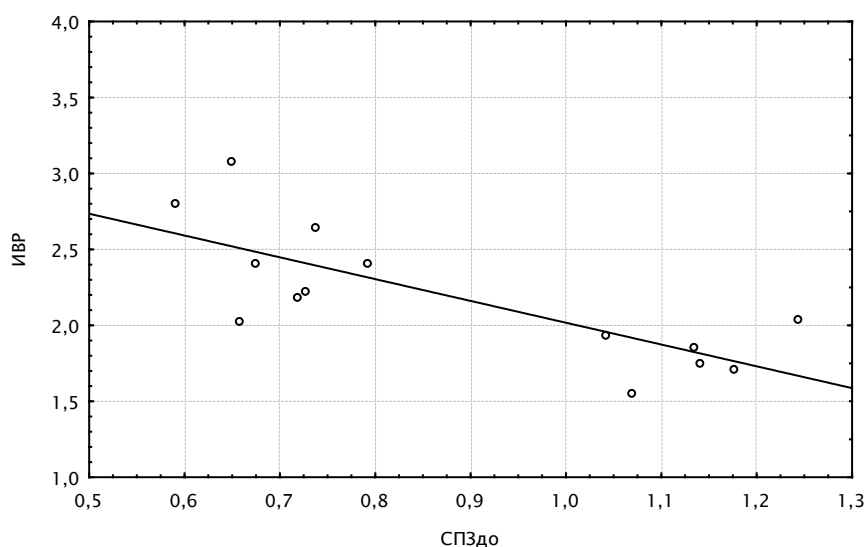


Рис.5. Зависимость биологического разнообразия бентосного сообщества (ИВР) от уровня загрязнения металлами (СПЗ<sub>до</sub>) донных отложений

Таким образом, в данном разделе рассмотрено состояние абиотических компонентов Куйбышевского водохранилища как среды обитания и современное состояние кормовой базы ихтиофауны. Рассмотрены источники загрязнения и изменчивость качества воды, оцениваемого по среднееголетним значениям интегрального показателя ИЗВ<sub>6</sub>, рассчитанным на основе экспериментальных данных и фоновых

материалов. Показано повышение уровня загрязнения ДО металлами от станций, расположенных в верховье водохранилища, к нижерасположенным станциям. Выявлен эффект «запаздывания» загрязнения металлами ДО от соответствующего загрязнения воды: осаждение металлов из водной фазы происходит в ДО плеса, расположенного ниже по течению реки от источника загрязнения вод. Повышение содержания металлов в ДО, обусловленное особенностями осаждения и переноса взвесей в условиях особого гидрологического режима водохранилища, проявляется в снижении видового разнообразия макрозообентоса и в увеличении количества морфологически измененных особей хирономид. Анализ кормовой базы ихтиофауны КВ показал устойчивое снижение ее качества, в том числе - сохранение тенденции к уменьшению количества мягкого бентоса, наблюдаемой в последние десятилетия.

### 3.3. Факторы и степень аккумуляции металлов в тканях и органах рыб основных экологических групп ихтиофауны

В течение всего онтогенеза рыб металлы из окружающей среды и кормовых компонентов поступают и аккумулируются в различных органах и тканях. В связи с поставленными задачами исследованы факторы и степень аккумуляции тяжелых и токсичных металлов (Zn, Cu, Ni, Mn, Cr, Pb, Cd, Fe, Co и Hg) в ихтиофауне.

Уровень загрязнения рыбы как пищевого продукта. В работе экспериментально определено содержание металлов в тканях и органах рыб. Среднее их содержание на единицу сырой массы приведено на рис. 6.

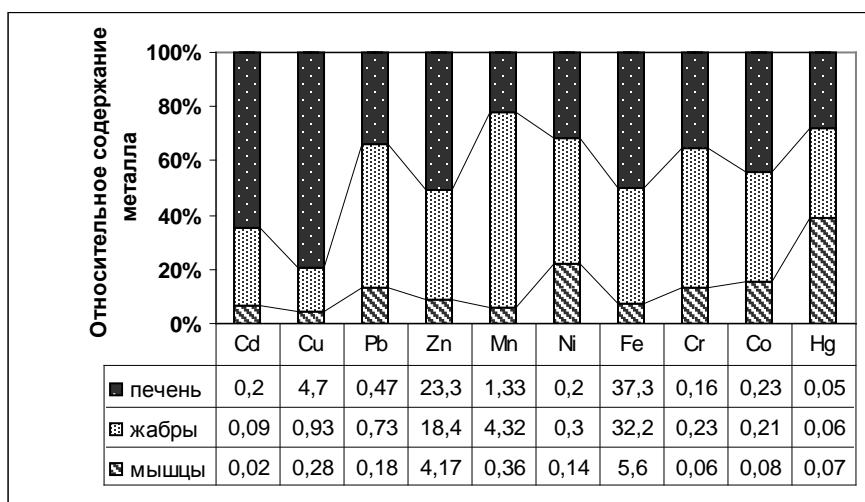


Рис. 6. Среднее содержание металлов (в мг/кг сырой массы) в печени, жабрах и мышцах рыб.

Прежде всего, была проведена оценка качества рыбы как пищевого продукта, основанная на существующих нормативах содержания металлов в мышцах (Pb, Cd, Hg и As) и печени (Pb, Cd и Hg), поэтому дальнейший анализ касается ртути, мышьяка, свинца и кадмия.

Ни в одной из исследованных проб рыб превышения нормативов содержания ртути, мышьяка и кадмия в мышцах не зафиксировано. Часть

образцов (5%) рыбы с превышением нормативного содержания свинца в мышцах отмечены для станций в верхних плесах водохранилища, для которых характерно также и его повышенное содержание в воде: в районе г. Зеленодольска (Волжский плес), в устье реки Меши и у Камского Устья (Волжско-Камский плес), г. Чистополя и в районе Вандовки (Камский плес).

Лишь для 7% исследованных образцов печени рыб обнаружено превышение содержания кадмия (2,4 - 3,0 ПДК) в районе п. Ташевки и г. Тетюши; в 12% отмечено превышение содержания свинца относительно ПДК в 1,1 – 5,4 раза. Большинство указанных проб было отобрано в районе г. Тетюши (Тетюшский плес), несколько меньше аномальных проб обнаружено на станциях Камского, Волжско-Камского, Ундорского, Ульяновского и Приплотинного плесов. Максимальное превышение пищевых нормативов для печени судака (в 237 раз) было зафиксировано на ст. Виновка, испытывающей техногенное воздействие г. Ульяновска.

Ниже дается анализ среднего содержания металлов в различных тканях и органах исследованных проб рыб.

Среднее содержание токсичных металлов (рис. 6) в порядке их убывания в тканях и органах исследуемых рыб можно представить в виде следующих рядов:

Мышцы: Fe>Zn>Cu>Mn>Pb>Ni>Co~Hg~Cr>Cd;

Жабры: Fe>Zn>Mn>Cu>Pb>Ni>Cr>Co>Cd~Hg;

Печень: Fe>Zn>Cu>Mn>Pb>Co>Ni~Cd~Cr>Hg.

По уровню содержания во всех тканях и органах рыб первое место занимает железо, что неудивительно, принимая во внимание большую роль этого элемента в дыхательной и кроветворной системах, в процессах переноса кислорода. Цинк, стоящий в представленных рядах на втором месте, также является эссенциальным элементом, входящим в состав многих ферментов. Медь, хотя и относится к группе микроэлементов, однако играет важную роль в организме и следует за железом по активности в качестве катализатора окислительно-восстановительных процессов (Иванов, 1988). Наибольшее количество свинца, марганца, никеля и хрома отмечено в жабрах. Процесс поглощения и концентрирования этих металлов в жабрах, по-видимому, обусловлен проникновением через дыхательные пути. Кадмий, медь, цинк, железо и кобальт содержится в печени в большем количестве по сравнению с мышцами и жабрами. Преобладание железа в печени известно из литературы (Иванов, 1988). Большая часть поступившего в организм железа идет на выработку гемоглобина, а остальная откладывается в печени, костном мозге и селезенке. Преимущественное же накопление в печени меди, кадмия и цинка может быть обусловлено как внешними (пищевой путь поступления), так и внутренними (специфической функцией печени, особым аминокислотным составом ее белков, либо особыми условиями существования данных металлов в тканях печени, способствующими их накоплению) факторами. Для кадмия отмечена способность к замещению

цинка в цинксодержащих ферментах, что также способствует его накоплению в печени.

Таким образом, анализ среднего содержания элементов и выявленные закономерности их распределения в тканях и органах исследованных рыб согласуются с биохимической ролью металлов в жизнедеятельности организма, а также путями поступления и выведения их из организма.

Широко известна способность металлов к накоплению в живом веществе, характеризующаяся для каждого элемента присущим ему коэффициентом (В) биофильности<sup>4</sup> (Перельман, 1989). Учитывая закономерности распределения металлов в тканях и органах рыб, была предпринята попытка установить зависимость между коэффициентами биологического поглощения (КБП)<sup>5</sup> металлов и их биофильностью. Для нивелирования факторов, обусловленных видовыми особенностями рыб, были рассчитаны средние величины КБП. Степень накопления изученных металлов в некоторых тканях и органах рыб коррелирует с биофильностью ряда элементов (Ni, Cr, Zn, Cd, Cu, Pb), соответствующие параметры зависимости приведены в табл. 1.

Полученные зависимости демонстрируют наличие общих для всей живой материи механизмов аккумуляции эссенциальных элементов и выявляет общность закономерностей дифференциации химических элементов в процессе их миграции с участием живого вещества в водных и наземных экосистемах.

Таблица 1. Уравнение зависимости между величинами КБП металлов в различных тканях и органах рыб и биофильностью (В) элементов ( $p < 0,05$ )

Органы	Уравнение регрессии	Статистические параметры	
		r	n
Мышцы	$КБП = 9,30 + 1,76 \cdot 10^5 \cdot В$	0,80	72
Печень	$КБП = 36,69 + 1,10 \cdot 10^5 \cdot В$	0,97	56
Жабры	$КБП = 41,25 + 2,23 \cdot 10^5 \cdot В$	0,98	34

Рассчитанные значения КБП элементов выявили следующую закономерность: по степени поглощения всеми тканями и органами рыб лидирует цинк, что связано с его высокой биофильностью, после него следует кадмий и свинец, уступая по степени аккумуляции железу лишь в жабрах. В обычных условиях (Перельман, 1989) в ряду изменения степени накопления элементов после цинка следует группа элементов (Cu, Mn, Ni,

<sup>4</sup> Биофильность – отношение содержания металла в живом веществе к соответствующему кларку.

<sup>5</sup> КБП =  $C_p/C_v$ , где  $C_p$  – содержание металлов в мг/кг сырой биомассы,  $C_v$  – содержание металлов в воде в мг/л.



Со). Высокое накопление кадмия и свинца, входящих в группу условно эссенциальных элементов (Бгатов, 2001), может служить индикатором загрязнения среды обитания и пищевого субстрата. Анализ химических свойств исследуемых металлов показал, что соединения свинца, меди и кадмия с серой (сульфиды) имеют наименьшие значения произведения растворимости (ПР) по сравнению с соответствующими ПР для других металлов. Это означает, что они должны прочнее связываться с серосодержащими фрагментами органических молекул в тканях рыб. В печени, где преобладают катаболические процессы, среда преимущественно восстановительная и органическая сера присутствует в виде сульфгидрильных групп, способствующих связыванию металлов с высоким сродством к сере, к каковым и относятся свинец, медь и кадмий, в ряде проб именно в печени отмечено экстремально высокое накопление данных элементов.

Пути поступления металлов в ткани и органы рыб различных экологических групп. Поступление и накопление металлов в организме рыб в значительной степени определяется способом их питания (биомагнификация) и условиями среды обитания (биоконцентрирование). Анализ рассчитанных коэффициентов накопления металлов по тканям и органам для разных экологических групп рыб (планктонофаги, бентофаги, хищники), различающихся условиями питания, выявляет следующие особенности.

Так, для бентофагов (лещ, белоглазка и стерлядь) металлы в значительной степени поступают с пищей. Выявленная экспоненциальная зависимость (рис. 7) между величинами КБП металлов бентосными организмами и КБП тех же металлов для печени бентофагов ( $\text{КБП}_n(\text{бентофаги}) = 12,50 \cdot \exp(1,25 \cdot \text{КБП}_6)$ ;  $r=0,89$ ;  $p<0,05$ ) свидетельствует о преимущественно пищевом пути поступления и накопления металлов. Мягкий бентос, составляющий основу рациона данной группы рыб, интенсивно аккумулирует металлы из донных отложений, вместе с которыми представляет обменный фонд в биогеохимическом цикле металлов. Данная зависимость показана для бентосных организмов, обитающих на песчаных грунтах, при этом уровень накопления металлов макрозообентосом, обитающем на илах, значительно снижается совместно с уменьшением подвижности металлов в данных типах грунтов.

Для планктонофагов отмечены наибольшие значения КБП металлов (Fe, Cd, Pb, Cr, Mn, Ni) в жабрах в сравнении с соответствующими значениями для других органов. Учитывая преимущественное накопление металлов в жабрах планктонофагов, можно предположить, что для этой группы рыб преобладающим является путь поступления металлов через дыхательный аппарат, что подтверждается зависимостью между величинами КБП в жабрах и концентрацией каждого из указанных металлов в воде ( $\text{КБП}_{\text{пл}} = 7,34 + 308,09 \cdot C_B$ ;  $r=0,83$ ;  $p<0,05$ ) (рис. 8). Достоверной корреляционной зависимости между содержанием металлов в фитопланктоне и КБП в печени планктонофагов отмечено не было.

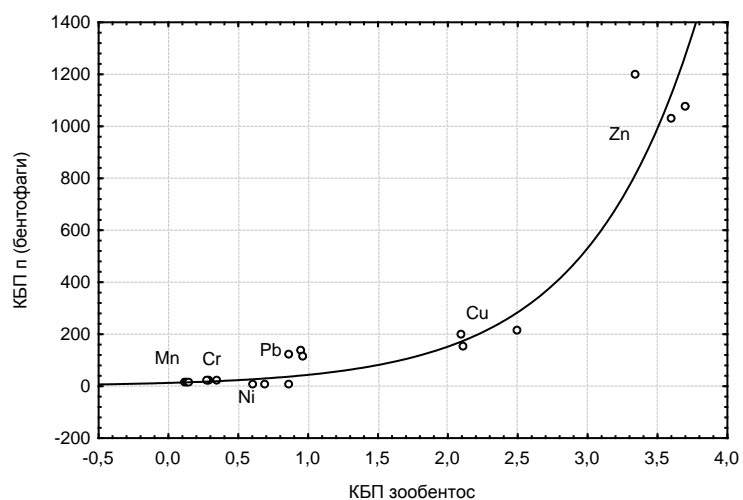


Рис.7. Зависимость между средним уровнем накопления металлов бентосными организмами (KBПбентос) в песчаных грунтах и печенью бентофагов (KBП<sub>п</sub>).

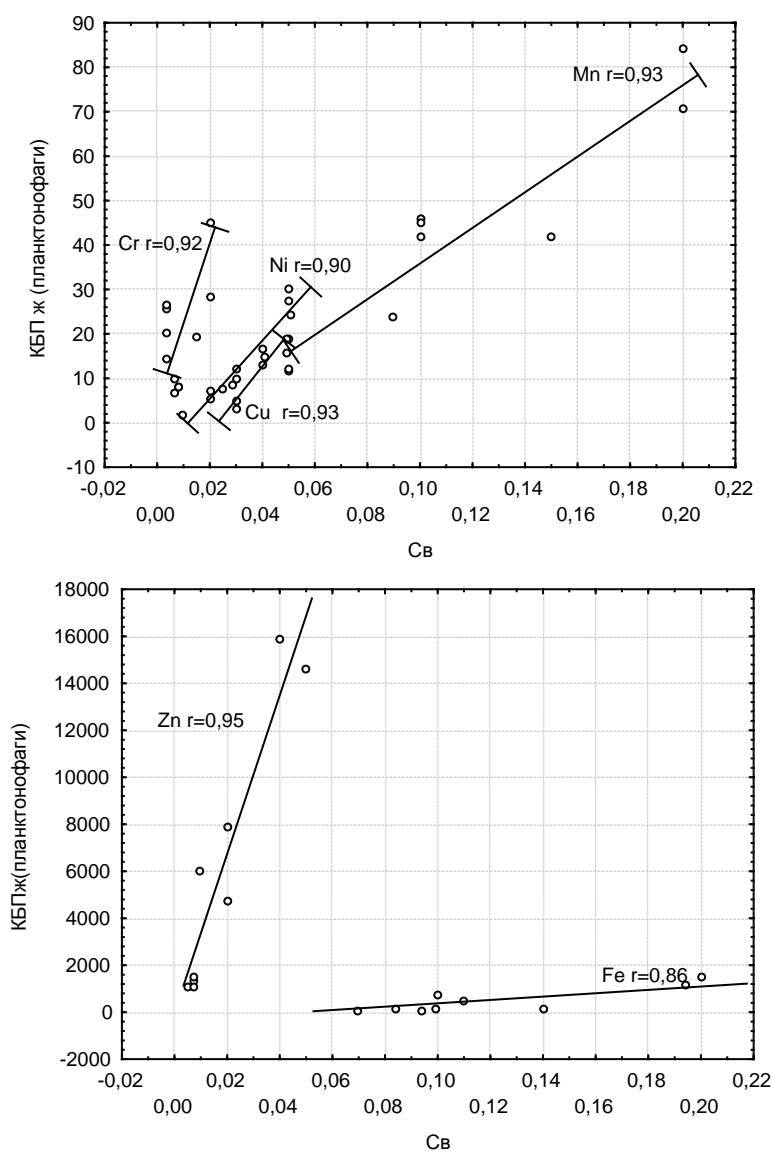


Рис. 8. Зависимость между средним уровнем накопления металлов в жабрах (KBП<sub>ж</sub>) планктонофагов и средней концентрацией (мг/л) тех же металлов в воде.

У хищников одни металлы (Cd, Cu и Cr) интенсивно накапливаются в печени, а другие (Fe, Pb, Mn и Ni) – в жабрах, что по механизмам поглощения металлов роднит их, с одной стороны, с бентофагами, а с другой стороны, с планктонофагами. Результаты проведенного анализа указывают на смешенный путь поступления металлов в организм хищников: биомагнификацию и биоконцентрирование. Основой питания хищников является мелкая рыба различных пород, поэтому при рассмотрении зависимости между содержанием металлов в пищевом субстрате хищников и величинах КБП в их органах были взяты усредненные значения содержания металлов в мышцах всех видов рыб. Получена корреляционная зависимость между накоплением металлов в мышцах ( $\text{КБП}_\text{м} = -2,20 + 90,25 \cdot C_\text{м}$ ;  $r = 0,97$ ;  $p < 0,05$ ), печени ( $\text{КБП}_\text{п} = -543 + 2344 \cdot C_\text{м}$ ;  $r = 0,98$ ;  $p < 0,05$ ) хищников и их содержанием в пищевом субстрате, что согласуется с биомагнификационным механизмом накопления металлов в организме хищников. Следует отметить, что зависимость степени накопления металлов в жабрах хищников от их концентрации в воде ( $\text{КБП}_\text{ж} = 8,34 + 191,35 \cdot C_\text{в}$ ;  $r = 0,88$ ;  $p < 0,05$ ) справедлива, главным образом, для элементов, характеризующихся наибольшим поглощением жабрами (Cu, Ni, Fe, Mn) (рис. 9).

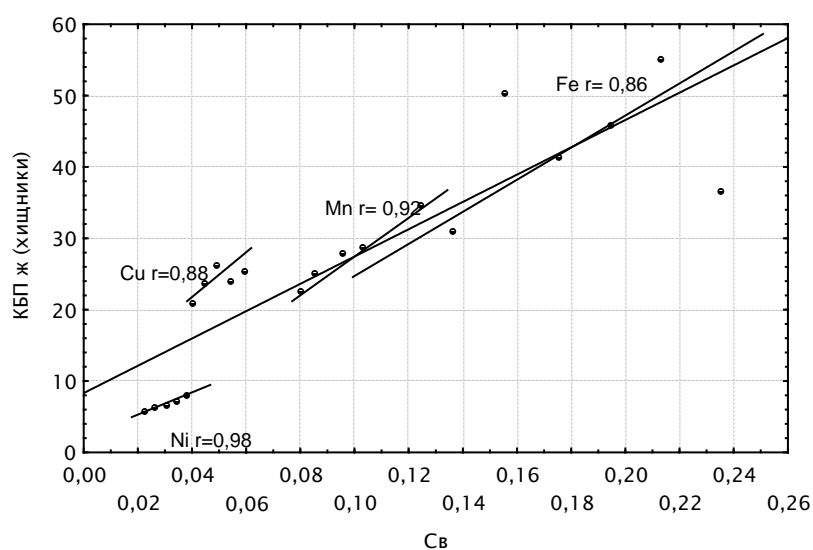


Рис. 9. Зависимость между средним уровнем накопления металлов в жабрах хищников ( $\text{КБП}_\text{ж}$ ) и их средней концентрацией (мг/л) в воде.

Взаимосвязь между степенью накопления металлов в мышцах рыб и интегральными показателями среды их обитания. Содержание металлов в мышцах рыб вызывает особый интерес у исследователей в связи с установлением безопасного уровня поступления металлов в организм человека с пищей. Поэтому для оценки потенциальной опасности аккумуляции загрязняющих веществ из среды обитания в данной работе сделана попытка выявить взаимосвязи между средним (по плесам) содержанием металлов в абиотических компонентах (вода, ДО) и их содержанием в мышечной ткани рыб различных экологических групп. Ниже

приводятся результаты математического описания выявленных взаимосвязей (табл.2).

Таблица 2. Уравнения взаимосвязи среднего содержания (С, мг/кг сырой массы) металлов в мышцах рыб различных экологических групп от интегральных показателей (СПЗ<sub>В</sub>) загрязненности воды и/или (СПЗ<sub>ДО</sub>) донных отложений металлами

Металл	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции (r)	Число измерений (n)
<b>Планктонофаги</b>			
Цинк	$C = 3,12 + 0,34 \cdot \text{СПЗ}_В$	0,94	42
Кадмий	$C = -0,01 + 0,01 \cdot \text{СПЗ}_В$	0,93	43
Железо	$C = 0,76 + 0,56 \cdot \text{СПЗ}_В$	0,87	42
Никель	$C = 0,34 + 0,02 \cdot \text{СПЗ}_В$	0,85	39
Свинец	$C = 0,07 + 0,07 \cdot \text{СПЗ}_В$	0,84	42
Медь	$C = 0,17 + 0,06 \cdot \text{СПЗ}_В$	0,83	42
Хром	$C = 0,01 + 0,08 \cdot \text{СПЗ}_В$	0,82	40
Марганец	$C = 0,19 + 0,06 \cdot \text{СПЗ}_В$	0,76	39
<b>Бентофаги</b>			
Цинк	$C = 1,98 + 3,86 \cdot \text{СПЗ}_{ДО}$	0,88	46
Кадмий	$C = -0,02 + 0,07 \cdot \text{СПЗ}_{ДО}$	0,78	42
Свинец	$C = 0,07 + 0,20 \cdot \text{СПЗ}_{ДО}$	0,84	46
Медь	$C = 0,17 + 0,06 \cdot \text{СПЗ}_{ДО}$	0,83	46
Хром	$C = 0,02 + 0,12 \cdot \text{СПЗ}_{ДО}$	0,66	40
Марганец	$C = -0,29 + 1,45 \cdot \text{СПЗ}_{ДО}$	0,83	46
Ртуть	$C = 0,004 + 0,07 \cdot \text{СПЗ}_{ДО}$	0,81	46
Железо	$C = 0,51 + 0,98 \cdot \text{СПЗ}_В$	0,77	42
<b>Хищники</b>			
Медь	$C = -0,03 + 0,14 \cdot \text{СПЗ}_В$	0,82	24
Хром	$C = -0,04 + 0,11 \cdot \text{СПЗ}_{ДО}$	0,86	24
Никель	$C = -0,23 + 0,73 \cdot \text{СПЗ}_{ДО}$	0,81	24
Железо	$C = 0,67 + 0,88 \cdot \text{СПЗ}_В$	0,79	24

Сравнение содержания металлов в мышцах планктонофагов в силу отмеченных нами особенностей их аккумуляции целесообразно проводить с суммарным показателем загрязнения воды металлами (СПЗ<sub>В</sub>). Бентофаги ведут преимущественно придонный образ жизни, заглатывая вместе с пищей частицы грунта, что определяет наличие четкой зависимости С - СПЗ<sub>ДО</sub>. В силу сложных трофических связей хищников на содержание металлов в их мышцах могут оказывать влияние, как качество воды, так и состав ДО. Полученные данные показывают, что содержание хрома и никеля в мышцах хищников коррелирует с величинами СПЗ<sub>ДО</sub>, а меди и железа, приоритетных загрязняющих веществ поверхностных вод региона, – с величинами СПЗ<sub>В</sub>. По-видимому, преимущественный путь поступления из воды и накопления железа через дыхательную систему определяет и достоверную корреляцию его содержания в мышцах всех экологических групп рыб от СПЗ<sub>В</sub>.

Рекомендации к развитию подсистемы ихтиомониторинга КВ. Полученные в данной работе результаты позволили предложить включение в систему мониторинга Куйбышевского водохранилища контроль содержания токсичных металлов в мышцах леща. Это в совокупности с оценкой степени загрязнения воды и донных отложений, а также с учетом частоты морфологических деформаций личинок хирономид обеспечит необходимый контроль и прогнозирование потенциальной опасности загрязнения тканей и органов рыб различных экологических групп.

С использованием построенной на базе результатов данной работы тематических слоев электронной эколого-водохозяйственной карты КВ (масштаб 1:200000) в виде геоинформационной базы данных, обеспечивающей картографическое представление основных оперативно-территориальных единиц и ее тематического содержания, выявлены актуальные зоны, рекомендованные для формирования сети ихтиомониторинга в акватории КВ.

## **ВЫВОДЫ**

1. Сравнительный анализ степени загрязнения абиотических компонентов (воды и ДО) по плесам, выделенным на основе экологического районирования акватории Куйбышевского водохранилища, за период 1992 – 2002 гг. позволил установить характер пространственного распределения тяжелых и токсичных металлов: верхние плесы (Волжский и Камский) характеризуются большей степенью загрязнения воды (на основе рассчитанных интегральных показателей ИЗВ<sub>6</sub> и СПЗ<sub>В</sub>), что связано с интенсивной техногенной освоенностью соответствующих территорий; для нижних же плесов (Волжско-Камского, Тетюшского, Ундорского и Приплотинного плесов) обнаружено повышенное (относительно фонового уровня) содержание токсичных металлов в ДО (по интегральному показателю СПЗ<sub>ДО</sub>), что связано с особенностями осаждения и переноса взвешенных веществ от верхних к нижним плесам.

2. Выявлены характерные ряды по убыванию среднего содержания каждого из исследованных металлов в тканях и органах всех исследуемых видов рыб КВ (мышцы:  $Fe > Zn > Cu > Mn > Pb > Ni > Co \sim Hg \sim Cr > Cd$ ; жабры:  $Fe > Zn > Mn > Cu > Pb > Ni > Cr > Co > Cd \sim Hg$ ; печень:  $Fe > Zn > Cu > Mn > Pb > Co > Ni \sim Cd \sim Cr > Hg$ ). На основе математического описания взаимосвязи между степенью биологического поглощения металлов в тканях и органах рыб и степенью накопления этих металлов в пищевом объекте (зообентосные организмы) либо в среде обитания (вода и ДО) выявлены преимущественные пути их поступления в организм в соответствии с принадлежностью рыб к различным трофическим группам: для бентофагов – это биомагнизация (зависимость КБП в бентосе - КБП в печени бентофагов); для планктонофагов – биоконцентрирование (зависимость КБП в жабрах –  $C_{Me}$  в воде); для хищников – смешанный путь поступления (зависимости КБП в мышцах –  $C$  в пище; КБП в печени –  $C$  в пище; КБП в жабрах –  $C$  в воде).

3. Увеличение суммарного показателя ( $СПЗ_{до}$ ) загрязнения ДО металлами (Zn, Cu, Ni, Mn, Cr, Pb, Cd, Fe, Co и Hg) сопровождается ухудшением биологических характеристик (ИВР) бентосных сообществ Куйбышевского водохранилища. Экспериментально выявленные повышенные (в сравнении с фоновыми) значения встречаемости деформаций личинок хирономид приурочены к организованным (в Волжско-Камском и Приплотинном плесах) и диффузным (в Ундорском плесе) источникам загрязнения.

4. Выявленная и математически описанная взаимосвязь между накоплением металлов в мышцах различных экологических групп рыб и интегральными показателями среды их обитания: для планктонофагов - с величинами  $СПЗ_B$  (Zn, Cd, Fe, Ni, Pb, Cu, Cr, Mn); для бентофагов – со значениями  $СПЗ_{до}$  (Zn, Cd, Pb, Cu, Cr, Mn, Hg); для хищников – и  $СПЗ_{до}$  (Cr, Ni), и  $СПЗ_B$  (Cu, Fe) - может быть положена в основу прогноза опасности загрязнения тканей и органов рыб различных экологических групп в условиях полиметаллического загрязнения абиотических компонентов водохранилища.

5. Оценка содержания нормируемых токсичных металлов показала отсутствие превышения содержания Cd, As и Hg в мышцах относительно санитарно-гигиенические ПДК для большей части акватории Куйбышевского водохранилища, лишь в небольшом числе (5,6%) образцов, отобранных на станциях верхних плесов с низким качеством воды, имеется превышение норматива содержания Pb в мышцах рыб. Превышение нормативов по Hg в печени рыб не выявлено; 12% образцов, взятых из рыб-обитателей участков водохранилища с высокими концентрациями ТМ в ДО не отвечали нормативам по содержанию Pb и Cd.

6. Получена линейная зависимость степени биологического поглощения токсичных металлов (Ni, Cr, Zn, Cd, Cu, Pb) в тканях и органах рыб от соответствующих величин биофильности элементов, что подтверждает

общность закономерностей распределения и дифференциации химических элементов в процессе их миграции с участием живого вещества в водных и наземных экосистемах.

7. Тенденция к устойчивому снижению численности ( $3_i$ ) промысловых рыб во времени ( $\tau$ ) в последний период развития КВ количественно описана следующими уравнениями регрессии:

$$C_{\text{судак}} = 37,56 - 0,46 \cdot \tau, \quad C_{\text{лещ}} = 213,09 - 3,83 \cdot \tau, \quad C_{\text{голец}} = -34,76 + 1784,18 \cdot \tau^{-1}, \quad C_{\text{белуга}} = -69,30 + 3377,13 \cdot \tau^{-1}.$$

8. Разработаны методические рекомендации к ведению подсистемы ихтиомониторинга Куйбышевского водохранилища. Обоснована целесообразность контроля степени загрязнения абиотических компонентов (воды, ДО) для прогноза опасности загрязнения тканей и органов рыб различных экологических групп; анализа деформации личинок хирономид для характеристики уровня загрязнения среды обитания на границе вода - донные отложения; контроля уровня загрязнения индикационно значимых для ихтиомониторинга видов рыб (мышцы и печень леща, жабры синца) для характеристики уровня загрязнения ихтиоценоза в целом. Выявлены актуальные зоны, рекомендованные для формирования сети ихтиомониторинга в акватории Куйбышевского водохранилища.

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

### Статьи

1. Nazarova L.B. Morphological deformations of Chironomid larvae in assessment of Kuibishev water reservoir ecological state / L.B. Nazarova, L.K. Govorkova, R.M. Sabirov, V.Z. Latypova // Environ. Radioecol. Appl. Ecol.-2001.-Vol.7, No.2.- pp.22-27.

2. Говоркова Л.К. Опасность загрязнения промысловых рыб Куйбышевского водохранилища тяжелыми металлами /Л.К. Говоркова, О.К. Анохина, Н.Ю. Степанова, О.Г. Яковлева, В.З. Латыпова// Безопасность жизнедеятельности, 2004. - №2. - сс.45-51.

3. Степанова Н.Ю. Оценка уровня загрязнения донных отложений Куйбышевского водохранилища в местах повышенного антропогенного пресса методом триады /Н.Ю. Степанова, Л.К. Говоркова, О.К. Анохина, В.З. Латыпова// Актуальные проблемы водной токсикологии. – Борок, 2004. – сс.224-247.

4. Гончаренко К.С. Состояние и перспективы развития рыбного хозяйства на Куйбышевском и Нижнекамском водохранилищах /К.С. Гончаренко, В.П. Миловидов, Л.М. Хузеева, Н.А. Бартош, Р.Г. Таиров, В.И. Говорков, Л.М. Браславская, Р.А. Ризванов, Л.К. Говоркова, О.К. Анохина //Труды ГосНИОРХ, 2004. - (в печати).

### Тезисы докладов

5. Говоркова Л.К. Состояние кормовой базы и ихтиофауны в центральной части р. Меша / Л.К. Говоркова, В.П. Миловидов, К.С. Гончаренко, Л.Б. Назарова // «Малые реки: Современное экологическое

состояние, актуальные проблемы»: Тез. докл. Международной научной конференции. - Тольятти, 2001. – С. 54.

6. Аверьянов Д.Ф. /Состояние промысловой ихтиофауны в водах Мамадышского рыбзавода на Куйбышевском водохранилище (по данным траловых съемок 1987-1999 гг.) /Д.Ф. Аверьянов, Л.К. Говоркова // 8 Съезда гидробиологического общества РАН: Тез. докл. - Калининград, 2001.-Т. 3. - С. 4.

7. Говоркова Л.К. Характеристика уровня загрязнения донных отложений Куйбышевского водохранилища / О.К. Анохина, Л.К. Говоркова, Н.Ю. Степанова, В.З. Латыпова //Биоразнообразие и биоресурсы Среднего Поволжья и сопредельных территорий: Тез. докл. - Казань, 2002. – С. 103-104.

8. Степанова Н.Ю. Сорбционная способность и уровень загрязнения донных отложений в пределах вод Республики Татарстан / Н.Ю. Степанова, В.З. Латыпова, О.К. Анохина, Л.К. Говоркова, Р.Г. Таиров // Современные проблемы водной токсикологии: Тез. докл. - Борок, 2002.- С. 25-26.

9. Говоркова Л.К. Уровень накопления токсикантов в различных компонентах водной экосистемы Куйбышевского водохранилища /О.К. Анохина, Л.К. Говоркова // Экологические проблемы бассейнов крупных рек – 3: Тез. докл. - Тольятти, 2003. – С. 12.

10. Говоркова Л.К. Личинки хирономид как тест объект в токсикологических исследованиях /Л.К. Говоркова, Л.Б. Назарова, О.К. Анохина, Н.Ю. Степанова, В.З. Латыпова // 2 Съезд токсикологов России: Тез. докл. - М, 2003. – С. 79-80.

11. Степанова Н.Ю. Токсикологическое исследование донных отложений на микробиотестах /Н.Ю. Степанова, О.К. Анохина, Л.К. Говоркова, В.З. Латыпова // 2 Съезд токсикологов России: Тез. докл. - М, 2003. – С. 245-246.

12. Говоркова Л.К. Влияние тяжелых металлов на макрозообентос /Л.К. Говоркова, О.К. Анохина // Экологические, морфофизиологические особенности и современные методы исследования живых систем: Тез. докл. - Казань, 2003. – С. 108-110.